Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 315- 328

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۲۸-۳۱۵

مقاله پژوهشی

افزایش ماندگاری قارچ تکمه‌ای با اسانس خوشاریزه و بسته‌بندی نانوکامپوزیت پلی اتیلن-رس

سیف‌اله حمزه کلکناری[۱]- حجت اله بداقی[۲*]- زیبا قسیمی‌حق[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱

چکیده

در این پژوهش، ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ تکمه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری در بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلن و نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس ۵ درصد در ترکیب با اسانس خوشاریزه در سه غلظت صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر بررسی شد. ارزیابی صفاتی از قبیل کاهش وزن، سفتی بافت، نشت الکترولیت و محتوی مالون دی آلدهید، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، جمعیت میکروبی، شاخص قهوه‌ای شدن، درصد باز شدن کلاهک‌ها و بازارپسندی کلی قارچ‌های تکمه‌ای در بسته‌بندی‌ها نشان داد که افزودن نانوذرات رس در بستر پلی‌اتیلن اثر معنی‌داری بر افزایش دوره نگهداری نسبت به بسته‌بندی پلی‌اتیلن داشته است. از طرف دیگر اسانس خوشاریزه در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر اثرات بهبوددهنده‌ای در حفظ ویژگی‌های قارچ‌ها در دوره نگهداری در هر دو نوع بسته‌بندی نشان داد با این وجود، غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر اسانس خوشاریزه تاثیر بیشتری داشت. در کل، بسته‌بندی قارچ‌های تکمه‌ای در نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس ۵ درصد و استفاده از پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر برای افزایش دوره نگهداری این محصول همراه با حفظ کیفیت پس از برداشت و بازارپسندی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسانس خوشاریزه، قارچ تکمه‌ای، نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس، ماندگاری

مقدمه

امروزه قارچ تکمه‌ای خوراکی (*Agaricus bisporus*) یکی از منابع مهم تامین مواد غذایی در دنیا است و روند کشت آن هم‌زمان با افزایش مصرف آن به‌طور پیوسته افزایش یافته است. قارچ تکمه‌ای اصلی‌ترین قارچ خوراکی در ایران بوده و مهم‌ترین شاخص کیفی آن سفید بودن، داشتن کلاهک گرد و براق، ساقه راست، فقدان لکه‌های قهوه‌ای است (Ares *et al*., 2007). قارچ‌های خوراکی به‌طور معمول ماندگاری کوتاهی دارند. بر اساس گزارشات عمر نگهداری قارچ تکمه‌ای در دمای محیط ۱ تا ۳ روز و در دمای یخچال ۸ تا ۱۰ روز است (Kim *et al*., 2006). قارچ در مقایسه با سایر محصولات باغبانی سرعت تنفس بالاتری دارد و به دلیل فقدان پوشش محافظ طبیعی برای جلوگیری از هدر رفتن آب، کیفیت آن به‌سرعت از دست می‌رود. لذا کاهش سریع کیفیت قارچ تکمه‌ای در مرحله پس از برداشت توزیع و عرضه آن را دچار محدودیت کرده است (Nerya *et al*., 2006).

در دهه اخیر استفاده از فیلم‌های پلی‌اتیلن جهت ایجاد اتمسفر تعدیل‌یافته[۳] و اسانس‌های طبیعی به‌منظور افزایش دوره نگهداری محصولات گسترش زیادی یافته است. به‌نظر می‌رسد که بسته‌بندی قارچ در فیلم‌های پلی‌اتیلن مناسب، برای افزایش ماندگاری قارچ و تجارت آن بهترین گزینه باشد. بسته‌بندی قارچ در پوشش‌های مختلف با توجه به شرایط کشت و رقم قارچ باید به‌طور دقیق طراحی شود. انتخاب نامناسب ممکن است بی اثر باشد و یا حتی کیفیت محصول را به دلیل صدمه به بافت کاهش دهد و با ایجاد شرایط تنفس غیرهوازی موجب کاهش عطر و طعم محصول شود. گزارشات زیادی درباره استفاده فیلم‌های بسته‌بندی وجود دارد. در تحقیقی اثر بسته‌بندی تعدیل یافته بر ماندگاری قارچ‌های تکمه‌ای کامل و برش خورده با استفاده از فیلم پلی وینیل کلراید[۴] و دو نوع فیلم پلی‌الفینی با پوشش‌های کلرید کلسیم و کیتوزان بررسی گردید که سفیدی قارچ‌های کامل به‌طور معنی‌داری با نوع پوشش تغییر کرد و ممانعت از کاهش وزن در تمام بسته‌ها نسبت به شاهد معنی‌دار شد (Kim *et al*., 2006) همچنین گزارش شده در بسته‌های اتمسفر تعدیل یافته با کاهش اکسیژن در بسته‌ها ظرفیت آنتی اکسیدانی نسبتا بالایی القاء شده و به‌طور قابل توجهی باعث جلوگیری از افت کیفیت پس از برداشت شده است؛ ولی با کاهش بیش از حد اکسیژن قارچ‌ها کیفیت خود را از دست داده‌اند. هم‌چنین گزارش شده است که استفاده از بسته‌بندی قارچ در پوشش‌های

۱ و ۲- به‌ترتیب کارشناسی ارشد و استادیار، گروه باغبانی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
(*- نویسنده مسئول: Email: h.bodaghi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.83935

۳ Modified atmosphere
۴ Polyvinyl chloride (PVC)

نازک باعث ماندگاری این محصول می‌شود (Xing, 2008; Nath, 2012). محققان گزارش کرده‌اند که بین چهار ضخامت مختلف پوشش نازک پلی‌اتیلن به همراه اتمسفر تعدیل‌یافته‌فیلم بسته‌بندی با ضخامت ۰/۰۵ میلی‌متر بهترین اثر را در حفظ کیفیت انباری و پس از برداشت قارچ خور اکی صدفی داشت (Li *et al*., 2010). در پژوهشی دیگر به مقایسه فیلم‌های پلی‌اتیلن و پلی وانیل‌کلراید در عمرماندگاری قارچ خوراکی پرداخته شد. آنها بیان کردند در فیلم‌های پلی اتیلن از ۱۰ الی ۱۴ روز افزایش عمر ماندگاری نسبت به فیلم‌های پلی وینیل کلراید مشاهده گردید (Taghizadeh *et al*., 2010).

نانوکامپوزیت‌های پلیمری سیستم‌های دو فازی هستند که یک ماتریس پلیمری و نانو ذرات معدنی را شامل می‌شوند. نانو ذرات رس از جمله نانو ذراتی هستند که بسیار مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. دلیل این توجه ارزانی، دسترسی آسان، و عملکرد و فرایندپذیری خوب آن‌ها است (De Azeredo, 2009). در تحقیقی بداقی و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند فیلم‌های نانوکامپوزیتی حاوی رس خواص بازدارندگی بیشتری نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلن معمولی دارند. همچنین این محققان اعلام کردند زمانی که نانوذرات رس به فیلم‌های نانو کامپوزیت اضافه می‌شود، سبب افزایش استحکام فیلم شده و کاهش میزان نفوذپذیری فیلم نانو کامپوزیت را به دنبال داشته است. این امر به دو دلیل صورت می‌گیرد. دلیل اول ایجاد شدن مسیر پیچ و خم‌دار برای انتشار ماده گازی است چون مواد پرکننده[1] کریستال‌های غیرآلی نفوذناپذیر هستند و مولکول‌های گازی به‌جای عبور از یک مسیر عمودی از پیرامون آن‌ها (مسیر زیگزاگ) عبور می‌کنند بنابراین باید مسیر طولانی‌تر را برای عبور طی کنند. دلیل دوم برای توجیه بهبود ویژگی بازدارندگی، ایجاد شدن برخی تغییرات در نواحی بین سطوح در زمینه پلیمری است. اگر برهمکنش مطلوبی از پلیمر و نانو ذره به وجود آید، رشته‌های پلیمر که در مجاورت هر نانو ذره قرار دارد تا حدودی بی‌حرکت می‌شوند. در پی آن میزان جهش مولکول‌های گازی مهاجر که از نواحی فی‌مابین سطوح نانو ذرات و زمینه پلیمری عبور می‌کنند با تغییر در تراکم و اندازه منافذ آزاد، کاهش می‌یابد (Pereira de Abreu *et al*., 2007).

استفاده از اسانس‌های طبیعی می‌تواند کمک به‌سزایی در افزایش ماندگاری و جلوگیری از فساد داشته باشد. اخیرا از اسانس‌های گیاهان در افزایش ماندگاری میوه‌ها، گل‌ها، سبزی‌ها و موادغذایی استفاده‌های فراوانی شده است (Regnier *et al*., 2010). گیاه خوشاریزه با نام علمی *Echinophora cinerea* گیاهی پایا با ارتفاعی حدود ۱۲۰-۴۰ سانتی متر از خانواده چتریان می‌باشد. اثرات ضدقارچ و ضدباکتری این گیاه توسط محققان گزارش شده است (Entezari., 2009). روغن‌های فرار و عصاره متانولی این گیاه اثر آنتی‌اکسیدانی دارد (Rahimi-Nasrabadi *et al*., 2012). کاربرد اسانس میخک هندی، آویشن و سینامالدهید در دوره پس از برداشت قارچ تکمه‌ای باعث کاهش افت وزن، قهوه‌ای شدن و باز شدن کلاهک، کاهش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز (قهوه‌ای شدن آنزیمی) و حفظ ترکیبات فنلی و اسید آسکوربیک شد به‌نحوی که از پیری بافت نسبت به قارچ‌های تیمار نشده به‌طور چشمگیری ممانعت شد (Gao *et al*., 2014). در پژوهشی دیگر، اثر پوشش اسانس‌های میخک هندی، آویشن و سینامالدهید بر ماندگاری قارچ خوراکی بررسی شد و اثر معنی‌دار استفاده از آن‌ها بر حفظ صفات کیفی و کمی پس از برداشت قارچ گزارش شده است (Jiang *et al*., 2015).

مرور تحقیقات گذشته نشان داد که تاکنون گزارشی در مورد استفاده توام از فیلم‌های نانوکامپوزیت و اسانس‌های گیاهی بر ماندگاری قارچ تکمه‌ای صورت نگرفته است. به نظر می‌رسد پوشش قارچ تکمه‌ای با اسانس‌های خوراکی و بسته‌بندی آن در فیلم‌های نانوکامپوزیتی بتواند افزایش ماندگاری پس از برداشت، عمر قفسه‌ای و ایمنی غذایی محصول را برای مصرف کننده به همراه داشته باشد. لذا در این پژوهش استفاده توام از اسانس خوشاریزه در پوشش‌دهی و به‌کارگیری فیلم نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات رس (۵٪) بر صفات فیزیکوشیمیایی قارچ تکمه‌ای در دوره پس از برداشت ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی‌اتیلن-رس با استفاده از نانوذرات رس 20 A و با روش مخلوط واکنشی مذاب در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران ساخته شدند. ارزیابی برخی از ویژگی‌های فیزیکی، حرارتی، مورفولوژیکی و رئولوژیکی فیلم بسته‌بندی در گزارشات قبلی ارائه شده است (Bodaghi *et al*., 2015). نمونه‌های قارچ از مؤسسه پرورش قارچ شاهوار شهرستان شاهرود تهیه شد و پس از انتقال به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، قارچ‌های یکسان و هم‌اندازه و سالم جدا شدند و به‌منظور گرفتن گرمای مزرعه‌ای به شرایط تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪ منتقل شدند. فاکتور اول، اسانس خوشاریزه در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میکرولیتر در لیتر به‌صورت اسپری روی محصول صورت گرفت و سپس به مدت کوتاهی هوادهی شدند. به‌منظور یکنواختی در اجرای آزمایش نمونه‌های شاهد با آب مقطر استریل اسپری شدند. فاکتور دوم فیلم‌های بسته بندی پلی اتیلن با دانسیته پایین و فیلم‌های نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس تولید شده در پژوهش قبل (Bodaghi *et al*., 2015) با ضخامت ۲۰ میکرومتر بودند. نفوذپذیری فیلم پلی‌اتیلنی در برابر اکسیژن، دی‌اکسید کربن و بخار آب به‌ترتیب برابر با

[1] Filler

۴۱۱۱۵ cc ml m^{-2} day^{-1} ،۱۹۲۳۱/۸۱cc ml m^{-2} day^{-1} و ۲/۲۱ g mm $kpa^{-1}h^{-1}m^{-2}$ و نفوذپذیری فیلم نانوکامپوزیت رس ۵ درصد در برابر اکسیژن، دی‌اکسید کربن و بخار آب برابر ۲۲۱۲۲ cc ml m^{-2} day^{-1} ، ۹۶۳۲/۲cc ml m^{-2} day^{-1} و ۱/۹g mm $kpa^{-1}h^{-1}m^{-2}$ بود. به‌منظور اندازه‌گیری نفوذپذیری فیلم‌ها در برابر اکسیژن و دی‌اکسید کربن با استفاده از دستگاه MONOCON, Millenapolis, MN و برای اندازه‌گیری نفوذپذیری در برابر بخار آب از دستگاه WVP tester, model 180-500 استفاده شد. در مرحله بعد قارچ‌های تکمه‌ای به مقدار ۱۰۰ گرم در فیلم‌های مورد نظر به ابعاد ۲۰× ۲۵ سانتی‌متر توسط دستگاه دوخت حرارتی بسته‌بندی و به شرایط دمایی ۱±۴ درجه‌سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰٪ منتقل شدند. بررسی صفات کیفی پس از برداشت در زمان‌های ۵ روز یک‌بار به مدت ۳۵ روز انجام شد. برای هر زمان و هر تکرار بسته‌های جداگانه در نظر گرفته شد که در نهایت ۱۲۶ بسته جداگانه تا پایان آزمایش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

صفات مورد بررسی

درصد کاهش وزن

برای ارزیابی کاهش وزن در طول دوره نگهداری، وزن بسته‌های قارچ تکمه‌ای در تیمارهای مختلف در شروع آزمایش و در فواصل زمانی ۵ روزه به‌وسیله ترازوی دیجیتال ۰/۰۱ (SCALTEC، آلمان) انجام گرفت. اندازه‌گیری بدین صورت بود که نمونه‌های اولیه بلافاصله پس از بسته‌بندی در روز اول وزن شدند و در دمای ۵ درجه قرار گرفتند. در هر دفعه نمونه برداری وزن بسته‌ها ثبت گردید و از طریق رابطه ۱ زیر درصد کاهش وزن مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$\text{کاهش وزن} = 100 \times (w1 - w2) / w1 \qquad (۱)$$

W1: وزن بسته‌ها در شروع آزمایش

W2: وزن بسته‌ها در هر مرحله نمونه‌برداری

سفتی بافت

سفتی بافت قارچ توسط دستگاه پنترومتر (سفتی‌سنج) (FT 011) بر حسب واحد نیوتن صورت گرفت. قرائت میزان سفتی بر اساس عمق نفوذ ۵ میلی‌متری پروب دستگاه به ضخامت ۵ میلی‌متر از بالا عمود بر مرکز کلاهک قارچ (در محلی که زیر آن پایه قارچ قرار می‌گیرد) صورت گرفت.

نشت الکترولیت (نفوذپذیری غشا)

نفوذپذیری غشا بر اساس میزان نشت الکترولیت با استفاده از روش Mao و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. برای این منظور دیسک‌هایی به قطر ۹ میلی‌متر از کلاهک قارچ‌ها برداشت شد. ۵ دیسک از هر کلاهک به فالکون پلاستیکی ۳۵ میلی‌لیتری حاوی۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه منتقل شد و عمل همزدن یکنواخت به مدت ۲۰ دقیقه توسط دستگاه شیکر انجام شد. هدایت الکتریکی اولیه (EC1) به وسیله دستگاه ECمتر صورت گرفت. سپس فالکون‌ها در آب جوش به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از خنک‌شدن در دمای اتاق مجددا هدایت الکتریکی آن‌ها قرائت شد (EC2). نشت الکترولیت بر اساس رابطه ۲ ذیل محاسبه شد:

$$\text{نشت‌الکترولیت (درصد)} = (EC1 / EC2) \times 100 \qquad (۲)$$

میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (MDA[۱])

اندازه گیری میزان مالون دی آلدهید (MDA) بر اساس روش Meng و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد. حدود ۳ گرم از بافت کلاهک در ۱۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک‌اسید ۵٪ (TCA) هموژنیزه شد و به مدت ۲۰ دقیقه در g ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد. ۲ میلی‌لیتر از روشناور با ۲ میلی‌لیتر تیوباربیتوریک اسید ۶۷٪ (TBA) مخلوط شده و تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه گرما داده شد سپس به سرعت سرد شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانترفیوژ شده. سپس روشناور جمع‌آوری شده و میزان جذب به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico 2015, China) در طول موج‌های ۵۳۲، ۶۰۰ و ۵۴۰ نانومتر قرائت شد. مقدار MDA از طریق رابطه ۳ زیر محاسبه شد:

$$\text{MDA (mmolkg-1)} = [6.45 \times (OD532 - OD600) - 0.56 \times OD450] \times Vt \times Vr / (\text{Vs} \times \text{m}) \qquad (۳)$$

Vt: حجم کل محلول عصاره

Vr: حجم محلول مخلوط واکنش

Vs: حجم کل عصاره موجود در محلول مخلوط واکنش

m: وزن نمونه

فعالیت آنزیم کاتالاز

ارزیابی فعالیت آنزیم کاتالاز در طول زمان نگهداری بر اساس روش Candan و همکاران (۲۰۰۳) در طول موج ۲۴۰ نانومتر انجام شد. سنجش در مخلوط واکنش شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH 7)، ۱۰ میلی مولار H_2O_2 و عصاره آنزیمی صورت گرفت. یک واحد فعالیت کاتالاز به‌صورت مقدار آنزیمی که برای یک میکرومولار H_2O_2 در دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌کند بیان شده است.

۱ Malondialdehyde

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

فعالت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بر اساس توانایی این آنزیم در ممانعت از احیای فتوشیمیایی کلرید نیتروتترازولیوم آبی (NBT) در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از روش Candan و Beuchamp (۱۹۷۰) ارزیابی شد. شرایط دمایی انجام آزمایش ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. مخلوط واکنش (۳ میلی‌لیتر) شامل NBT ۳۳ میکرومولار، ۱- متیونین ۱۰ میلی‌مولار، $EDTA.Na_2$ ۰/۶۶ میلی‌مولار و ۰/۰۰۳۳ میلی‌مولار ریبوفلاوین در بافر فسفات پتاسیم ۰/۰۵ مولار (pH 7.8) بود. واکنش با افزودن ریبوفلاوین تحت شرایط روشنایی ۳۰۰ میکرومولار بر مترمربع-ثانیه به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد آغاز شد. میزان جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

بررسی جمعیت باکتری

ارزیابی جمعیت کل باکتری‌ها بر اساس روش Del Nobile و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. به فواصل زمانی ۵ روز یک‌بار حدود ۲۵ گرم از بافت نمونه‌های قارچ از هر تیمار به‌صورت تصادفی برش داده شد و به ۲۲۵ میلی‌لیتر محلول نمکی ۰/۹ درصد منتقل شد. محلول‌های رقیق شده ۱/۱۰، ۱/۱۰۰ و ۱/۱۰۰۰ از محلول اولیه با رقیق‌سازی به‌وسیله محلول نمکی تهیه شد و سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول اولیه و رقیق‌شده‌ها بر محیط کشت باکتری (PCA) پخش گردید و به انکوباتور و شرایط دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت انتقال داده شد. سپس تعداد کلونی‌های باکتری تشکیل شده برای هر تیمار شمارش شدند و با واحد لگاریتم کلونی‌های تشکیل شده در واحد گرم (LOD CFU/g) گزارش شدند.

شاخص قهوه‌ای شدن (BI)

شاخص قهوه‌ای شدن (BI) که بیان کننده خلوص رنگ قهوه‌ای است (Palou *et al*., 1999) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$BI= [100(x - 0.31)] / 0.172 \qquad (۴)$$

و مقدار x از رابطه زیر محاسبه شد:

$$x = (a + 1.75L)) / (5.645L + a - 3.012b) \qquad (۵)$$

مقادیر L^*, a^*, b^* مولفه‌های رنگی هستند که این مقادیر با عکس‌برداری از سطوح کلاهک قارچ در هر زمان نمونه‌برداری در اتاقکی با نور ثابت و با استفاده از دوربین دیجیتال Canon SX20 و نرم‌افزار فتوشاپ CC 2019 V20.0.4×64 portable به‌منظور ارزیابی مقادیر مذکور حاصل شده‌اند.

درصد بازشدن کلاهک‌ها قارچ‌ها و بازارپسندی کلی قارچ‌ها در بسته‌بندی

معیار ارزیابی درصد باز شدن کلاهک‌ها بر اساس توسعه شکل چتر مانند کلاهک‌ها که همرا با بازشدن تیغه‌های زیرین کلاهک است در نظر گرفته شد (Gao *et al*., 2014). این پارامتر از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$\%open\ caps = {}^{\text{Noc}}/_{\text{Nt}} \times 100 \qquad (۵)$$

Nt: تعداد کل قارچ‌ها در هر تیمار
Noc: تعداد قارچ‌ها با کلاهک باز شده

پذیرش یا مقبولیت کلی قارچ در پایان هر مرحله نگهداری، بر اساس رنگ، بافت و درصد کلاهک‌های باز شده با قضاوت ۵ نفر فرد آموزش‌دیده به عنوان داور در ۴ نقطه مقیاس انجام شد. این مقیاس‌ها شامل ۱= ضعیف۲= نسبتا خوب ۳= خوب و ۴= عالی بودند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. در این تحقیق تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد و سپس مقایسه میانگین صفات مورد بررسی به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

درصد کاهش وزن

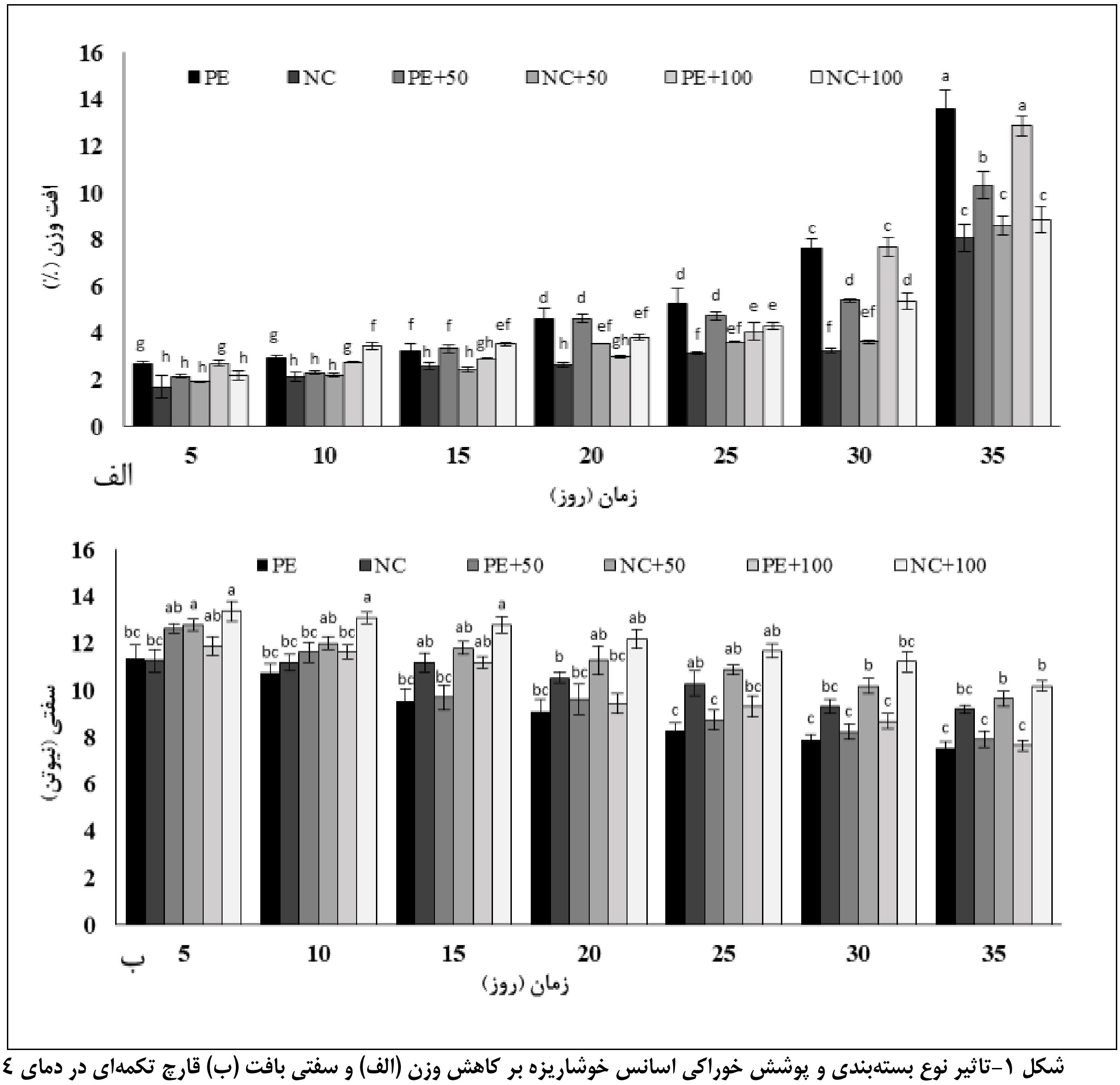
افت وزن قارچ‌های بسته‌بندی شده تا روز پانزدهم اختلافات چشمگیری را نشان ندادند در صورتی‌که از روز پانزدهم تا پایان دوره نگهداری (روز سی و پنجم)، کاهش وزن در تمام بسته‌بندی‌ها با گذشت زمان افزایش نشان داد (p<0.05) (شکل ۱-الف). بالاترین افت وزن در قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم پلی‌اتیلن (٪۱۳/۶) و کمترین درصد کاهش وزن در قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیت با پوشش و بدون پوشش اسانس خوشاریزه (NC)، (NC + 50) و (NC + 100) به‌ترتیب ۸/۳، ۸/۶ و ۸/۸ درصد مشاهده شد که از نظر آماری اختلافات معنی‌دار نداشتند (p>0.05). در صورتی که کاهش وزن قارچ‌های تیمار شده و بسته‌بندی شده در فیلم پلی‌اتیلنی بیشتر بود. دلیل کاهش وزن قارچ در دوره پس از برداشت از دست دادن آب است که یکی از عوامل مهم در کاهش کیفیت آن محسوب می‌شود. این

پدیده به علت ساختار اپیدرمی نازک قارچ است که توانایی ممانعت از دفع سریع آب از سطوح بافت را ندارد. پوشش اسانس بر سطوح بافت قارچ، چروکیدگی و کاهش کیفیت قارچ‌ها را به وضوح به تاخیر انداخت. این نتایج با گزارش‌های Gao و همکاران (۲۰۱۴) همراستا بود. آن‌ها نیز اثر اسانس‌ها بر جلوگیری از کاهش وزن را در قارچ شیتاکه گزارش کرده‌اند. از طرف دیگر با توجه با نفوذپذیری کمتر فیلم‌های نانوکامپوزیتی در برابر گازها، میزان تبخیر آب از سطوح بافت قارچ نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی کاهش یافته است. استفاده و عدم استفاده از اسانس خوشاریزه بر قارچ‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیت اثر معنی‌دار بر کاهش افت وزن در طول دوره نگهداری نشان نداد که می‌تواند به دلیل کارایی موثر فیلم‌های نانوکامپوزیت در ممانعت از خروج بخار آب و ایجاد اتمسفر تعدیل یافته مطلوب در فضای اتمسفر درونی داخل بسته‌ها باشد. یافته‌های ما با نتایج ارایه شده توسط Hu و همکاران (۲۰۱۱) همراستا بود.

سفتی بافت قارچ

سفتی بافت یکی از شاخص‌های مهم تعیین‌کننده کیفیت قارچ است و نشان‌دهنده تغییرات متابولیکی و تغییرات محتوای بافت قارچ است. نرم شدن بافت کلاهک در تمامی قارچ‌های بسته‌بندی شده با گذشت زمان افزایش نشان داده است (شکل۱–ب).

.



شکل ۱-تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر کاهش وزن (الف) و سفتی بافت (ب) قارچ تکمه‌ای در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری

نرم شدن بافت، در قارچهای بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیت رس نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی به تاخیر افتاد هم‌چنین پوشش اسانس خوشاریزه بر قارچهای بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیتی نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی اثر قابل توجهی بر کاهش پارامتر سفتی بافت در واحد زمان نشان داد به‌نحوی که بیشترین مقدار نرم‌شدن در قارچهای بسته‌بندی شده در PE, PE +50, PE +100 به‌ترتیب به میزان ۷/۶۴، ۷/۹، ۷/۵۵ نیوتن و کمترین مقدار آن در تیمار NC+ 100 به میزان ۱۰/۲ نیوتن مشاهده شد.

با پیشرفت مراحل رسیدگی و عمر میوه، شدت تنفس محصول افزایش پیدا می‌کند که سبب ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در بافت محصول می‌شود. تخریب دیواره سلولی و نرم شدن بافت میوه از مهم‌ترین این تغییرات هستند (Jooste, 2002). نرم شدن و یا کاهش سفتی در طول پس از برداشت میوه‌ها نیز به دلیل ایجاد تغییراتی در غشا اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر تغییرات بافت وابسته به تخریب پروتئین و پلی‌ساکاریدها، شکستن واکوئل‌ها و گسترش مواد ذخیره شده در واکوئل در فضای بین سلولی است (Galvis-Sanchez *et al*., 2003). تخریب ساختار بین سلولی و کاهش حجم واکوئل مرکزی می‌تواند با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها بر بافت قارچ نیز مرتبط باشد که در نهایت فساد میکروبی و کاهش فشار آماس سلولی را به‌همراه دارد (Zivanovic *et al*., 2000). امکان این نوع نرم شدن بافت در بسته‌بندی‌های بدون اسانس به‌وضوح مشاهده شد. در صورتی که اسانس خوشاریزه با کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد به ویژه باکتری‌ها، به‌طور موثر از کاهش سفتی بافت ممانعت کرده است علاوه بر این استفاده از اسانس‌های خوراکی می‌تواند تا حدی از فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی جلوگیری کند این نتایج با گزارش‌های Jiang و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. آن‌ها اثر مثبت اسانس آویشن و میخک هندی بر حفظ سفتی کلاهک قارچ تکمه‌ای را بیان کرده‌اند. محافظت از سفتی بافت در قارچهای بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیت می‌تواند به‌علت کاهش نفوذپذیری حاصل از حضور نانوذرات رس باشد که خواص سدکنندگی پلیمر پلی‌اتیلن خالص را بهبود بخشیده است. بنابراین با کاهش میزان نفوذپذیری و در پی آن کاهش فعالیت‌های متابولیکی تخریب دیواره‌های سلول و نرم‌شدن به تاخیر افتاده است. نتایج مشابه در استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی متفاوت و فیلم‌های نانوکامپوزیتی در کاهش میزان نرم شدن بافت میوه گلابی در پژوهش‌های Nath و همکاران (۲۰۱۲) و Ghasimi Hagh و Bodaghi (۲۰۱۹) گزارش شده است

نفوذپذیری غشا و مقدار MDA

نفوذپذیری غشای سلولی، به‌عنوان شاخصی از پایداری و سلامت غشائ سلولی، از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت و میزان اکسیداسیون لیپیدها با سنجش محتوای MDA در طول دوره نگهداری قارچ ها ارزیابی شد. همانطور که در شکل‌های ۲–الف و ب مشاهده می‌شود نشت الکترولیت و محتوای MDA در تمام بسته‌بندی‌ها با افزایش دوره نگهداری روند افزایشی داشته است. البته از روز پانزدهم تا پایان دوره نگهداری، روند افزایشی بیشتر بوده است. در کل دوره نگهداری، کمترین مقدار نشت الکترولیت و محتوی MDA در بسته‌بندی NC + 100 مشاهده شد به‌طوری که کمیت این پارامترها در این بسته‌بندی با روز ۲۵ یادداشت برداری در بسته‌بندی پلی‌اتیلن برابری کرد. بررسی اثر پوشش اسانس خوشاریزه در بسته‌بندی ها نشان داد که اسانس توانسته است در کاهش میزان نشت الکترولیت و محتوای مالون دی آلدهید در هر دو نوع بسته‌بندی با هر دو غلظت مصرفی اثرگذار باشد ولی نتایج بهتر با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر حاصل شد (شکل ۲–الف و ب). تغییر در نفوذپذیری غشا و محتوای مالون دی آلدهید بیان‌گر آسیب‌های غشایی است زیرا با صدمه اکسیداتیو سلولی محتوای MDA که محصول پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است، افزایش می‌یابد (Xu *et al*., 2009). در تایید این نتایج می‌توان به مطالعه Xing و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد. آن‌ها نقش مثبت اسانس دارچین در حفظ پایداری غشا و تاخیر در تجزیه دیواره سلولی را به‌دلیل کنترل آلودگی‌های میکروبی و شدت تنفس محصول فلفل دلمه‌ای و در پی آن بهبود صفات کیفی پس از برداشت ابراز نمودند.

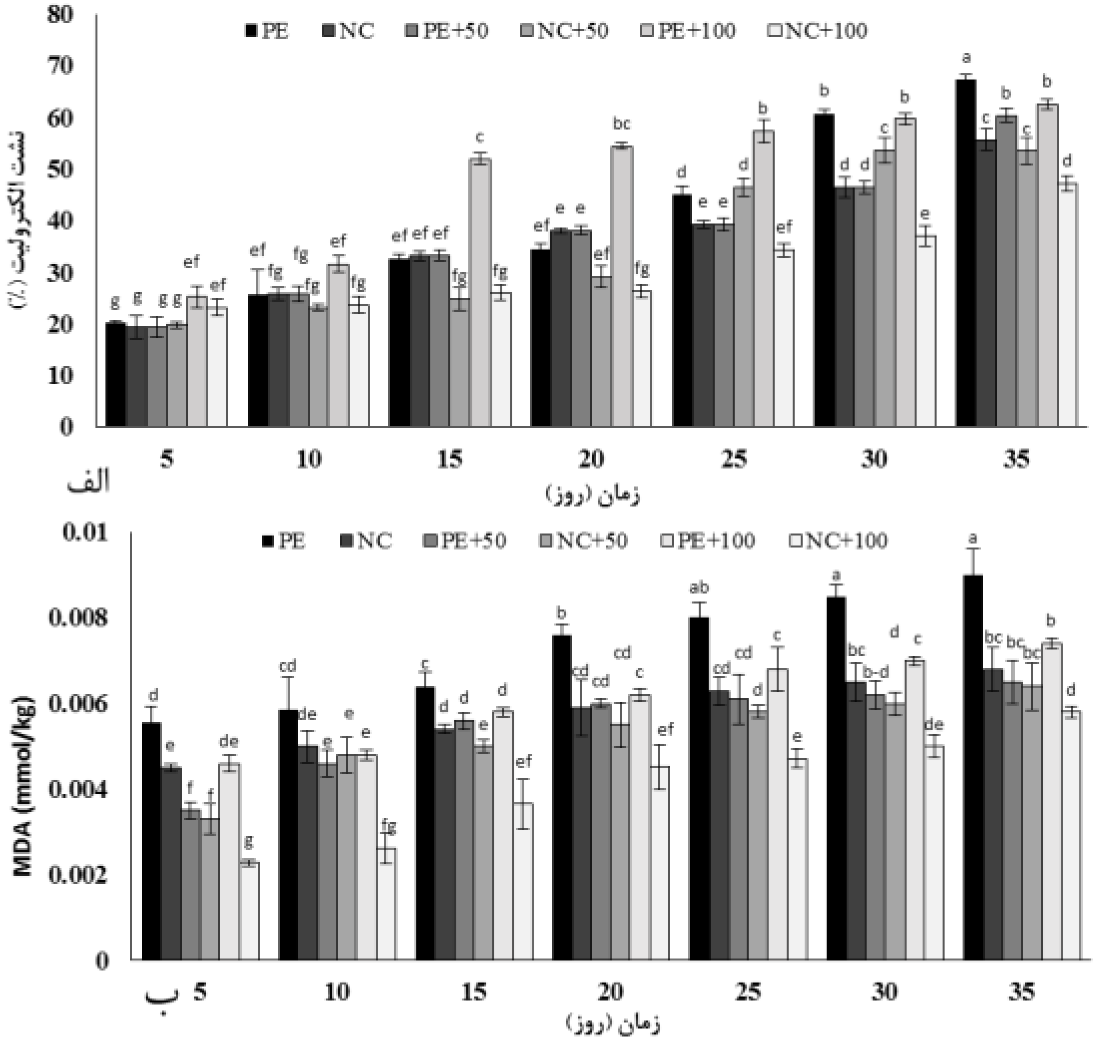
فعالیت آنزیم کاتالاز

بررسی تغییرات فعالیت آنزیم کاتالاز، که بیانگر میزان تجزیه آب اکسیژنه (H_2O_2)به آب و اکسیژن است، در بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلنی و نانوکامپوزیت با پوشش اسانس خوشاریزه نشان داد که هر چند در طول دوره نگهداری روند افزایشی داشته است ولی افزایش فعالیت این آنزیم از روز پانزدهم شدت گرفته است و در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی این آنزیم از روز سی‌ام کاهش فعالیت نشان داده است (شکل ۳–الف) که می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت این آنزیم در تجزیه H_2O_2 و به‌دلیل وقوع فرایند پیری در نمونه‌های قارچ بسته‌بندی شده در فیلم‌های پلی‌اتیلنی باشد. در حالیکه فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو نوع بسته‌بندی با غلظت ۵۰ میکرولیتر در لیتر اسانس خوشاریزه از روز بیستو پنجم فعالیت ثابتی داشته است، با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر فعالیت آنزیم کاتالاز همچنان روند رو به بالایی داشته به‌طوری که در انتهای دوره فعالیتش در بسته‌بندی نانوکامپوزیت به همراه غلظت بالای اسانس حدود ۲/۳۵ برابر نسبت به پلی‌اتیلن بوده است (شکل ۳–الف). فعالیت بیشتر آنزیم کاتالاز در قارچهای بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکتامپوزیت و پوشش داده شده با اسانس خوشاریزه نشان‌دهنده به تاخیر افتادن فرایند زوال و پیری در بافت قارچها است. سلول‌های هوازی گیاه در برابر تنش تولید گونه‌های فعال اکسیژن مثل H_2O_2 می‌کنند که مسمومیت آن‌ها توسط هر دو نوع سیستم آنتی اکسیدانت آنزیمی و غیرآنزیمی رفع می‌شود. فعالیت کاتالاز در برابر تنش‌ها در گیاهان به‌صورت سیستم

دفاعی افزایش می‌یابد. از اینرو کاتالاز روند تجزیه آب اکسیژنه به اکسیژن و آب را مدیریت می‌کند (Kavita *et al*., 2001).

فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD)

بر اساس نتایج (شکل ۳-ب)، فعالیت آنزیم SOD در بسته‌بندی های قارچ تکمه ای تا روز بیستم نگهداری یک روند افزایشی داشته است در حالیکه پس از آن تاریخ تا پایان دوره نگهداری در تمام بسته‌بندی‌ها فعالیت آنزیم کاهش محسوسی را نشان داده است. با این وجود فعالیت آنزیم SOD در قارچ‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیت و پوشش داده شده با اسانس خوشاریزه بالاتر از فیلم‌های پلی‌اتیلنی بود. این آنزیم به‌عنوان یکی از آنزیم‌های اساسی در حذف رادیکال‌های O^{2-} و کاتالیز آن‌ها به H_2O_2 و O_2 عمل می‌کند. در راستای مطالعات انجام شده درباره قارچ شیتاکه (Jiang *et al*., 2015) پوشش‌دار کردن قارچ‌ها با اسانس میخک هندی و دارچین فعالیت آنزیم SOD را در مقایسه با قارچ‌های بدون پوشش افزایش داد.

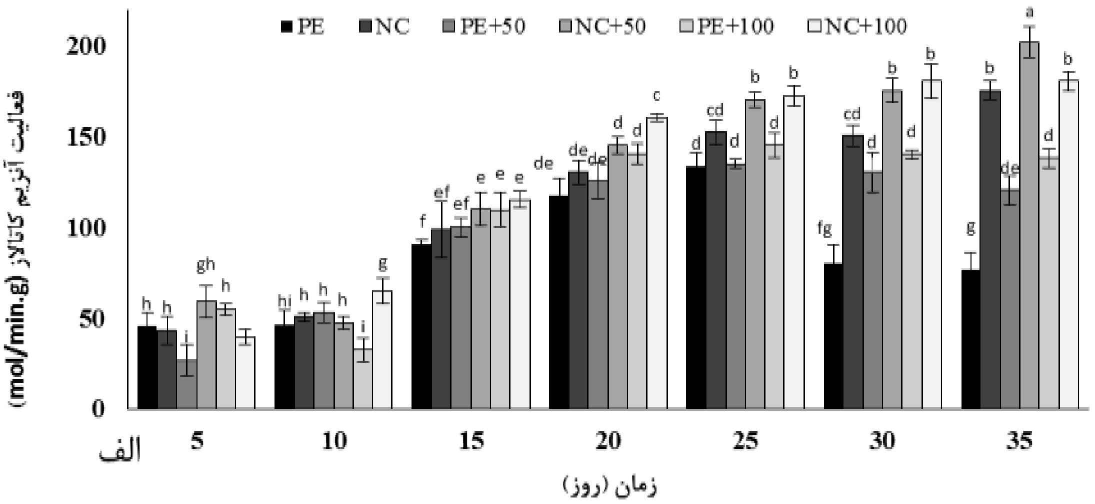


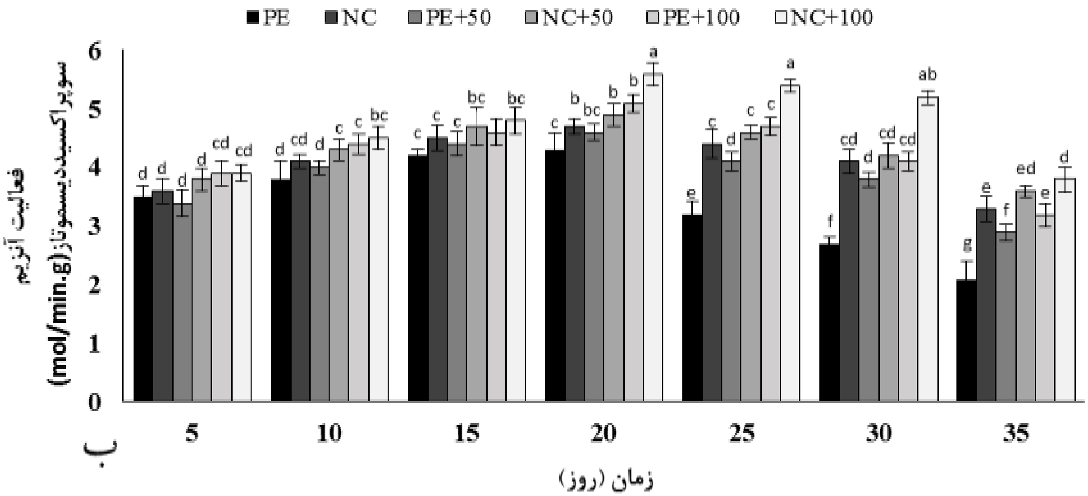
شکل ۲- تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر نشت الکترولیت (الف) و محتوای MDA (ب) قارچ تکمه‌ای در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری

جمعیت میکروبی

بررسی نتایج کشت میکروبی قارچ های بسته‌بندی شده نشان داد که جمعیت میکروبی در بسته‌بندی‌ها با افزایش طول دوره نگهداری افزایش داشته است (شکل۴-الف). تکثیر جمعیت میکروبی در بسته‌بندی پلی‌اتیلن از همان روز پنجم نسبت به همه بسته‌بندی‌ها بالا بود. این نسبت تا پایان دوره نگهداری تغییری نکرده است. با پوشش اسانس خوشاریزه در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی و نانوکامپوزیت رس مشاهده شد که این پوشش شدت رشد جمعیت میکروبی را نسبت به بسته‌بندی

پلی اتیلنی کاهش داده است. بیشترین ممانعت از رشد جمعیت میکروبی با استفاده از اسانس با غلظت ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر در هر دو نوع بسته‌بندی مشاهده شد. هر چند اسانس در بسته‌بندی‌ها مانع رشد جمعیت میکروبی شده است ولی بسته‌بندی نانوکامپوزیت رس با غلظت بالای اسانس توانسته بیشترین تاثیر را در ممانعت از رشد جمعیت میکروبی داشته باشد. Gao و همکاران (۲۰۱۴) نیز اثرات اسانس‌های میخک هندی، دارچین و آویشن را بر کنترل میکروارگانیسم‌هایی از قبیل باکتری مزوفیلیک، سودوموناس، سایکروفیلیک و مخمر گزارش کرده‌اند. اثرات ضدمیکروبی ترکیبات طبیعی به خوبی شناخته شده است و مکانیسم عمل آن‌ها مرتبط با از دست رفتن یکپارچگی و پایداری غشای سلول است (Bagamboula *et al*., 2004).



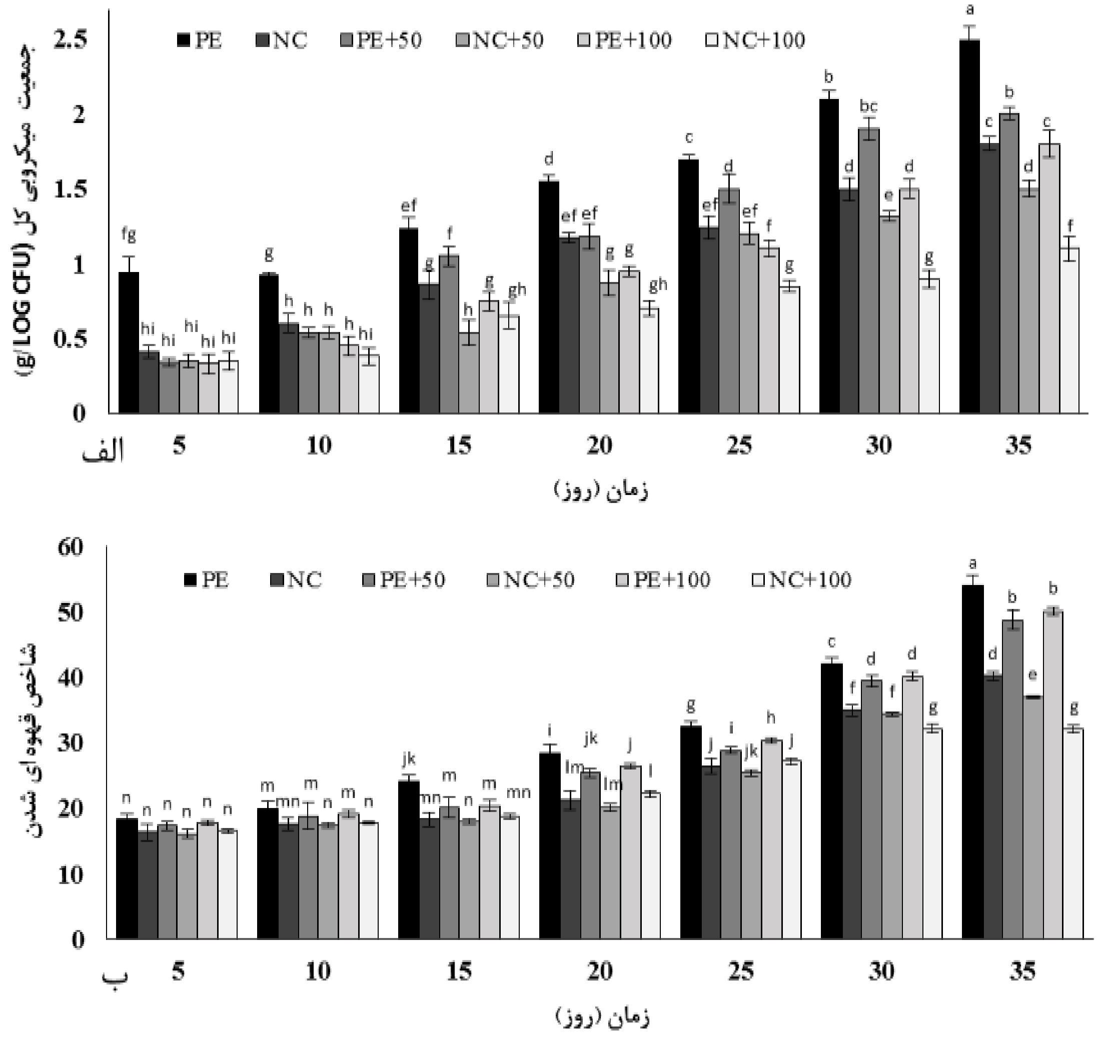


شکل ۳- تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر فعالیت آنزیم کاتالاز (الف) و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (ب) قارچ تکمه‌ای در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری.

شاخص قهوه ای شدن کلاهک

از شاخص‌های مهم در عرضه محصول قارچ تکمه ای در بازار رنگ کلاهک قارچ‌ها است که هرچقدر سفیدتر باشد بازارپسندی بیشتری دارد. نتایج شاخص قهوه ای شدن کلاهک قارچ‌ها در بسته‌بندی‌ها نشان داد که قهوه ای شدن در تمام بسته‌بندی ها با افزایش دوره نگهداری افزایش یافته است. هرچند روند افزایش قهوه‌ای شدن در بسته بندی های نانوکامپوزیت نسبت به پلی‌اتیلنی با تاخیر صورت گرفته است ولی اسانس خوشاریزه در کاهش قهوه‌ای شدن کلاهک قارچ‌های تکمه ای تاثیر معنی داری داشته است (شکل ۴-ب). یکی از علل قهوه‌ای شدن افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در طول دوره نگهداری است. تخریب سلولی و خروج ترکیبات فنولی از واکوئل به سیتوپلاسم که مکان حضور این آنزیم است و فراهم شدن اکسیژن شرایط افزایش فعالیت این آنزیم و سپس اکسید شدن ترکیبات فنلی و تجمع ترکیبات قهوه‌ای رنگ ملانین را فراهم می‌آورد. به‌نظر می‌رسد

که فیلم‌های نانوکامپوزیتی در مقایسه با فیلم‌های پلی‌اتیلنی نفوذپذیری نسبت به اکسیژن را کاهش داده و فعالیت کمتر این آنزیم باعث کاهش قهوه‌ای شدن کلاهک‌های قارچ شده است. از طرف دیگر پوشش اسانس خوشاریزه نیز سرعت قهوه‌ای شدن را کاهش داده است. شواهد عینی در مورد نقش این ترکیبات طبیعی در این زمینه وجود ندارد اما فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات به‌خوبی شناخته شده است. این امکان وجود دارد که اسانس‌های طبیعی از دهیدراسیون و تجمع پلیمرهای قهوه‌ای که عامل قهوه‌ای شدن بافت قارچ است جلوگیری کنند (Gao *et al*., 2014).



شکل ٤- تاثیر نوع بسته‌بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر جمعیت میکروبی (الف) و شاخص قهوه‌ای شدن (ب) قارچ تکمه‌ای در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری

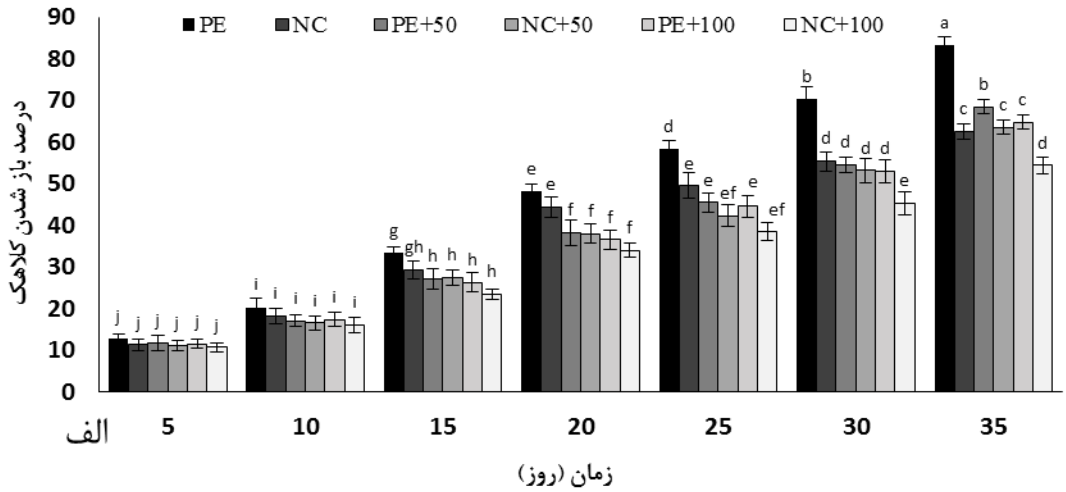
باز شدن کلاهک قارچ‌ها

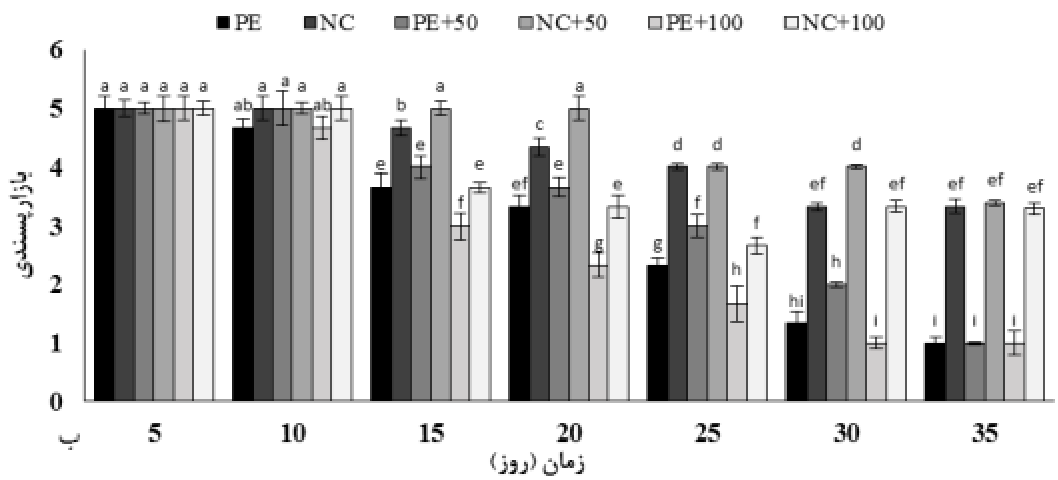
از مهم‌ترین علائم کیفیت و تازگی قارچ‌های تکمه‌ای عدم باز شدن کلاهک است. باز شدن کلاهک قارچ یکی از معیارهای پایین آمدن عمر و کیفیت قارچ است که به‌طور معمول از نشانه‌های بارزی است که هر خریداری آن را بررسی می‌کند. بررسی نتایج باز شدن کلاهک قارچ‌های بسته‌بندی شده نشان داد که با افزایش مدت زمان نگهداری بازشدن کلاهک قارچ‌ها نیز افزایش پیدا کرده است. اما استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی و اسانس خوشاریزه توانست باز شدن کلاهک قارچ‌ها را به‌طور معنی‌دار ($p < 0.05$) به تاخیر بیاندازد (شکل ۵-الف). برخی پژوهشگران بیان کرده‌اند که بازشدن کلاهک قارچ با کاهش غلظت اکسیژن و افزایش دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد (Villaescusa and Gil., 2003). همان‌طور که شکل ۵-الف نشان داده شده است باز شدن کلاهک قارچ‌های بسته بندی شده در فیلم نانوکامپوزیتی حاوی رس نسبت به بسته‌بندی پلی‌اتیلنی با پوشش و عدم پوشش اسانس کمتر بوده است. میزان تأثیر نوع بسته‌بندی نانوکامپوزیتی حاوی رس بر این پارامتر به توانایی نانوذرات رس موجود

در بستر پلی‌اتیلن در کاهش نفوذپذیری گازی برمی‌گردد چرا که بیشترین کنترل تبادل گازی را در ساختار خود دارد. باز شدن کلاهک مربوط به خشک شدن بافت کلاهک است که در پی کاهش میزان آب در حین نگهداری اتفاق می‌افتد. کاهش محتوای آب سلولی، نیروی چسبندگی مولکول‌های آب به سایر مولکول‌های آب‌دوست از قبیل پروتئین را که باعث حفظ ساختار کلاهک و تیغه‌های آن می‌شود، کاهش می‌دهد (Gao *et al.*, 2014). به‌نظر می‌رسد که فیلم‌های نانوکامپوزیتی با محدود کردن هدر رفت آب سلول‌ها توانایی بیشتری نسبت به فیلم‌های پلی‌اتیلنی در به تاخیر انداختن باز شدن کلاهک داشته باشند. از طرفی پوشش‌های اسانس به‌عنوان یک عامل نیمه نفوذپذیر نیز از اتلاف آب ممانعت به‌عمل آورده‌اند. این نتایج با گزارش‌های Abad Ullah و همکاران (۲۰۱۷) که توانایی پوشش ژل آلوئه‌ورا و اسانس دارچین را در ممانعت از اتلاف آب بافت میوه‌های فلفل دلمه‌ای گزارش کرده‌اند، همراستا است.

بازار پسندی

تحقیقات پس از برداشت برای حفظ طولانی مدت بازارپسندی محصول صورت می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۵-ب نشان داده شده است، با توجه به نظر داوران در ارزیابی حسی در تمام بسته‌بندی‌ها، با افزایش دوره نگهداری، بازارپسندی کاهش یافته است. بازارپسندی قارچ‌ها در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی نسبت به نانوکامپوزیتی حاوی رس از روز بیستم کاهش معنی‌داری داشته است در حالیکه بازارپسندی قارچ‌ها در بسته‌بندی نانوکامپوزیتی و پوشش‌های اسانس خوشاریزه تا پایان روز سی و پنجم از مقبولیت بیشتری برخوردار بوده‌اند. این نتایج بیان می‌کند که کاربرد فیلم‌های نانوکامپوزیتی و پوشش‌دادن قارچ‌های تکمه‌ای با اسانس خوشاریزه به نحو کارامد زوال قارچ‌ها را در ارزیابی حسی به‌تاخیر انداخته است. تصاویر قارچ‌ها در بسته‌بندی فیلم های پلی اتیلن و نانوکامپوزیت پلی اتیلن-رس و همچنین قارچ‌های بسته‌بندی شده با پوشش و عدم پوشش اسانس خوشاریزه در شکل ۶ ارائه شده است.





شکل ۵- تاثیر نوع بسته بندی و پوشش خوراکی اسانس خوشاریزه بر درصد باز شدن کلاهک (الف) و بازارپسندی (ب) قارچ تکمه‌ای در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد طی ۳۵ روز نگهداری



شکل٦- (الف) فیلم‌های استفاده شده در بسته‌بندی قارچ‌ها شامل فیلم نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس (راست) و فیلم پلی اتیلن (چپ). (ب) قارچ‌های بسته‌بندی شده در روز ۳۰ ام در ردیف بالا از چپ به راست PE، PE+50، PE+100 و در ردیف پایین NC، NC+50 و NC+100.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق بیانگر آن است که هر چند برای ممانعت بهتر از پیری و آلودگی قارچ تکمه‌ای در دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد استفاده از اسانس خوشاریزه در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی می‌تواند موثر باشد ولی تغییر در ساختار بستر پلی‌اتیلن با افزودن ۵ درصد نانورس برای افزایش دوره نگهداری قارچ‌ها با حفظ ویژگی‌های کمی و کیفی نتایج بسیار مطلوبی داشت. بنابراین استفاده از نانوذرات رس در پلی‌اتیلن با افزایش مقدار نفوذپذیری در برابر گازها و کاهش فعالیت‌های متابولیکی از قبیل شدت تنفس اتمسفر بهتری در بسته‌بندی محصول ایجاد کرد و با ممانعت از کاهش محتوای آب سلولی و نرم شدن بافت، کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های عامل فساد و حفظ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی توانست ویژگی‌های کیفی و بازارپسندی قارچ‌های بسته‌بندی شده را برای مدت زمان بیشتری حفظ کند. همچنین، استفاده از اسانس خوشاریزه به عنوان یک ماده طبیعی گیاهی با دارا بودن خواص ضدمیکروبی و کاهش نفوذپذیری نسبی ، پتانسیل استفاده به‌عنوان ماده نگهدارنده در پس از برداشت محصولات را دارد.

منابع

Abad Ullah, Abbasi, N.A., Shafique, M., Qureshi, A.A., 2017, Influence of edible coating on biochemical fruit quality and storage life of bell pepper cv. Yolo wonder. Journal of food quality (Hindawi), https://doi.org/10.1155/2017/2142409.

Ares, G., Lareo, C., Lema, P. 2007. Modified atmosphere packaging for postharvest storage of mushrooms. A review. *Fresh Produce*, 1(1), 32-40.

Bagamboula, C.F., Uyttendaele, M., & Debevere, j., 2004, Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, cavacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene toeards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*, *Food microbilogy*, 21, 33-42.

Beuchamp, C., & Fridovich, L., 1971, Superoxide dismotase: Improved assays and an assay application to acrylamide gels. *Analytical biochemistry*, 44, 276-287.

Bodaghi, H., Ghasimi Hagh, Z., 2019, Application of clay‑TiO2 nanocomposite packaging films on pears (Prunus communis L. cv. Williams) under cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 2377–2388.

Bodaghi, H., Mostofi, Y., Oromiehie, A., Ghanbarzadeh, B. & Ghasimi Hagh, Z., 2015, Synthesis of clay–TiO_2 nanocomposite thin films with barrier and photocatalytic properties for food packaging application. *Journal applied polymer Science*, 10(132), 1-8.

Candan, N., & Tarhan, L., 2003, Relationship among chlorophyll-cartenoid content, antioxidant enzme activities and lipid peroxidation level by Mg^{+2} deficiency in the *Menta pulegium* leaves. *Plant physiology and biochemistry*, 41, 35-40.

De Azeredo, H.M.C., 2009, Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International*, 42(9), 1240-1253.

Del Nobile, M. A., Conte, A., Scrocco, C., Laverse, J., Brescia, I., Conversa, G., & Elia, A., 2009, New packaging strategies to reserve fresh-cut artichoke quality during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 128–133.

Entezari, M., 2009, Studying the effect Echinophora platyloba extract on bactira (*Staphilococus aureus* and *Pseudomonas aeroginosa*) and fungi (*Candidia albicans*, *Aspergilus flavus* and *Aspergilus niger*) in vitro. *World Journal Medical Scencesi*, 4(2), 89-92.

Galvis-Sanchez, A.C., Fonseca, S.C., Morais, A.M.M.B., Malcata, F.X., 2003. Physicochemical and sensory evaluation of 'Rocha'pear following controlled atmosphere storage. *Journal of food science*, 68, 318-327.

Gao, M., Feng, L., Jiang, T., 2014, Browning inhibition and quality preservation of botton mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food chemistry*, 149, 104-113.

Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., Zhao, L., 2011, Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Research international Journal*, 44, 1589–1596.

Jiang, T., Luo, Z., Ying, T., 2015, Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shittake mushroom (*Lentinus edodes*). *Food chemistry*, 172, 692-698.

Jooste, M.M., 2002, Optimum harvest maturity and cold-storage duration for Prunus armeniaca L. cvs. Supergold and imperial cultivated in South Africa. SA Fruit Journal, 71, 63-71.

Kavita, S., Ritambhara, G.K., Shalini, V. and Dubey, R.S., 2001, Effect of cadmium on lipid peroxidasion, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant science*, 3(2), 23-35.

Kim, K.M., A Ko, J., Lee, J.S., Park, H.J., Hanna, M.H. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 39(4), 365-372.

Mao, L. C., Wang, G. Z., Zhu, C. G., Pang, H. Q., 2007, Involvement of phospholipase D and lipoxygenase in response to chilling stress in postharvest cucumber fruits. *Plant science*, 172, 400-405.

Meng, X. Y., Zhang, M., Adhikari, B., 2012, Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. *Postharvest biology and technology*, 71, 13-20.

Nath, A. Bidyut, C., Sing, A., Patel, R. K., Paul, D., Misra, L.K. Ojha, H., 2012. Extension of shelf life of pear fruits using different packaging materials. *Journal of food science and technology*, 49(5), 556-563.

Nerya, O., Ben-Arie, R., Luzzatto, T., Musa, R., Khativ, S., Vaya, J., 2006, Prevention of Agaricus bisporus postharvest browning with tyrosinase inhibitors. *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 272-277.

Li, X., Li, Y., Zhang, L., Wang, X., 2010, Effects of modified atmosphere packaging of PE film with different thickness on quality of Pleurotus nebrodensis. *Advanced Materials Research*, (156-157), 371-374.

Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canova, G.V., Welti-Chanes, J., & Swanson, G.B., 1999, Polyphenoloxidase activity and colour of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of food science*, 64, 42-45.

Pereira de Abreu DA., Paseiro Losada P., Angulo I. and Cruz JM. 2007. Development of new polyolefin films with nanoclays for application in food packaging. Eur. Polym. J. 43: 2229–2243.

Rahimi-Nasrabadi, M., Gholivand, M.B., Vatanara, A., pourmohamadian, S., Rouholamini-Najafabadi, A., Batooli, H., 2012, Comparison of essential oil composition of eucalyptus oleosa obtained by supercritical carbon dioxide and hydrodistillation. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 18(4), 318-330.

Regnier, T., Combrinck, S., Plooy, W., Botha, B., 2010, Evaluation of Lippia scaberrima essential oil and some pure terpenoid constituents as postharvest mycobiocides for avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 176-182.

Taghizadeh, M., Gowen, A., Ward, P. & O'Donnell, C.P., 2010, Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(3), 423-431.

Villaescusa, R., & M. Gil., 2003, Quality improvement of Pleurotus mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 169-179.

Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., Lu, Y., Tang, Y., 2011, Effect of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annum* L). *Food chemistry*, 124, 1443-1450.

Xing, Z. 2008, Effect of different packaging films on postharvest quality and selected enzyme activities of Hypsizygus marmoreus mushrooms. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(24), 11838-11844.

Xu, W.T., Peng, X.L., Luo, Y.B., Wang, J., Guo, X., & Huang, K.L., 2009, Physioological and biochemical responses of grape fruit seed extract dip on redglobe grape. LWT-Food science and technology, 42, 471-476.

Zivanovic, S., Buescher, R.W., & Kim, K.S., 2000, Textural changes in mushroom (*Agaricus bisporus*) associated tissue ultrastructure and composition. *Journal of food science*, 65, 1404-1408.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 315- 328

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۲۸-۳۱۵

Improving postharvest quality of button mushroom (*Agaricus bisporus*) using polyethylene-clay nanocomposite packing and Echinophora cinerea essential oil coating

S. Hamzeh-kalkenari, H. Bodaghi*, Z. Ghasimi Hagh

Received: 2019.09.26
Accepted: 2020.02.10

Introduction: Button mushrooms are the main edible mushrooms in Iran and the most important quality indicators of this fungus are the whiteness, having a glossy cap, straight stem, lack of brown spots. The mushroom has a higher respiration rate than other horticultural products and, due to the lack of natural protective cover to prevent water loss, its edible quality is rapidly lost. In the last decade, the use of polyethylene films to create a modified atmosphere and natural essential oils to extend the shelf life of crops has been greatly expanded. Mushrooms packaging Polymeric nanocomposites are two-phase systems comprising a polymeric matrix and inorganic nanoparticles. Clay nanoparticles are among the most widely studied nanoparticles. When added to the nanocomposite films, the clay nanoparticles increase the film strength and decrease the permeability of the nanocomposite film. Also, the incorporation of natural essential oils can greatly increase the post-harvest life and prevent deterioration. Recently, essentail oils have been widely used in various fields after harvesting fruits, flowers, and vegetables. So far, there has been no report on the combined use of nanocomposite films and plant essential oils on extending shelf life of buttom mushroom.

Materials and methods: Mushroom samples were obtained from Shahwar Company in shahrood. The experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications. The first factor Echinophora cinerea essential oil, was sprayed on the product at three levels of 0, 5 and 10 µl /l. The second factor was low-density polyethylene packaging films and 20 µm thick polyethylene-clay nanocomposite films. Subsequently, 100 g bottom mushrooms were packaged in the desired 25×20 cm films, the packed mushrooms were then transferred to 4± 1°C and relative humidity 90% storage conditions. Post-harvest qualitative traits were studied at 5-day intervals for 35 days. The studied traits were: tissue firmness, membrane permeability (electrolyte leakage), membrane lipid peroxidation (MDA), catalase and superoxide dismutase activity, microbial population, browning index, fungal opening percentage and fungal marketability.

Results and Discussion: Packed mushrooms in nanocomposite films with and withoutessential oils did not show a significant effect on weight loss during storage, which could be due to the effective performance of nanocomposite films in preventing water vapor and the creation of a favorable modified atmosphere in the microclimate space inside the packages. Tissue softening was delayed in packed mushrooms in nanocomposite films compared to polyethylene films, also coating of essential oil on packed mushrooms in nano films compared to polyethylene films. Polyethylene films had a significant effect on decreasing the firmness parameter during storage. Evaluation of the effect of essential oil coating and the packaging showed that the essential oil was effective in reducing electrolyte leakage and malondialdehyde content in both types of packaging with both concentrations, but the results were better with 100 µl /l. The change in membrane permeability and malondialdehyde content reflects membrane damage as the cellular oxidative damage of MDA content, which is a product of membrane lipid peroxidation, increases. The higher activity of catalase in the mushroom in nanocomposite films coated with essential oils indicates that the process of decay and aging in the mushroom tissue is delayed. The aerobic cells of the plant produce reactive oxygen species such as H_2O_2 against stress and their toxicity is eliminated by both types of enzymatic and non-enzymatic antioxidant systems. SOD enzyme activity was higher in mushroom packed in nanocomposite films and coated with essential oils than in polyethylene films alone. This enzyme acts as the basic scanengering enzyme for O-2 radicals and catalysis to H_2O_2 and O_2. It seems that the lower permeability of nanocomposite films compared to polyethylene films leads to prevent oxygen entry to a certain extent and the lower activity of this enzyme reduces the browning of the mushroom caps. On the other hand, coating with essential oil has also reduced the browning rate. The marketability of mushroom in polyethylene packaging has decreased significantly since the 20th day of clay nanocomposite, while the marketability of mushroom in the packaging of nanocomposite and essential oil coatings was acceptable by the end of 35th day. The results of this study indicate that although for the better prevention of senescence and contamination of buttom mushrooms during storage at 4°C, use of essential oil in polyethylene packaging can be effective but change in the structure of polyethylene by adding 5% nanoclay, it was highly desirable to increase the shelf life of the mushroom by retaining the quantitative and qualitative characteristics.

(*Corresponding Author Email: h.bodaghi@yahoo.com)

Key words: Button mushroom (*Agaricus bisporus*), Polyethylene-clay nanocomposite, Echinophora cinerea essential oil, Postharvest life.